

ИССЛЕДОВАНИЕ СЕНСОРНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК СЛОЕВ ПОРИСТОГО КРЕМНИЯ ДЛЯ ПРИМЕНЕНИЯ В МИКРО- И НАНОЭЛЕКТРОНИКЕ

© 2016 г. А.О. БЕЛУРУС, Я.В. БУКИНА, А.И. ПАСТУХОВ, Ю.М. СПИВАК

Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет "ЛЭТИ" им. В.И. Ульянова (Ленина),

В настоящее время пористый кремний (por-Si) является одним из наиболее перспективных материалов, который может быть широко использован в области биомедицины для адресной доставки лекарств, создания различных типов сенсоров и биосенсоров на его основе [1-6].

В работе для получения пористых слоёв использовались монокристаллические пластины кремния марки КЭФ 4.5 (100), которые подвергались процессу электрохимического анодного травления в электролитах с различным составом [7]. Стенд для электрохимического травления изображён на рис. 1.

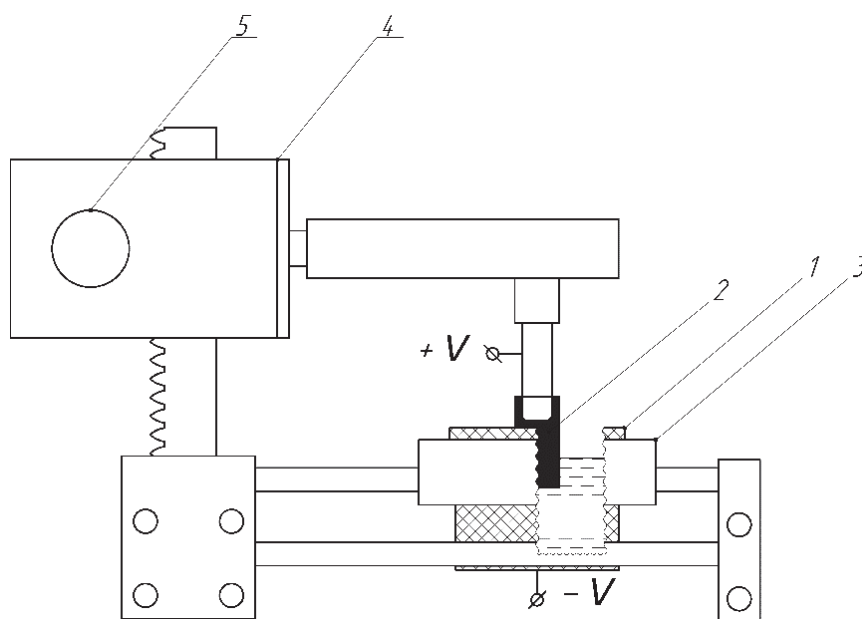


Рис. 1. Стенд для электрохимического травления. 1 – тигель, 2 – образец, 3 – платформа, 4 – каретка, 5 – ручка регулировки высоты.

Стеклоуглеродный тигель 1 содержит электролит, при погружении в который, на образце 2 в процессе электрохимического анодирования образуется пористый слой. Платформа 3 служит для перемещения тигля в горизонтальной плоскости, регулировка высоты каретки 4 производится при помощи ручки регулировки высоты 5. В ходе работы были получены 6 серий образцов пористого кремния. Режим формирования пористого слоя осуществляли при плотности тока анодирования $j = 5 \dots 120 \text{ mA/cm}^2$ в течение $t = 10$ мин в среде электролита $\text{C}_3\text{H}_8\text{O}:\text{HF}:\text{H}_2\text{O}$ (табл. 1).

Для исследования морфологии поверхности и свойств адсорбционных центров различной природы пористого кремния использовался метод «растекающейся капли»

[8]. Краевой угол смачивания полученных образцов *por-Si* определялся следующим образом. Механическим дозатором капли дистиллированной воды наносились на поверхность слоёв пористого кремния, после чего результаты фиксировались измерительным микроскопом. Обработка изображений происходила в программном обеспечении «Measurement of contact angle» [9].

При исследовании образцов марки (рис. 2), можно сделать вывод о том, что материал обладает исключительно гидрофобными свойствами, которые изменяются по нелинейному закону. Для полученных образцов пористого кремния серии 2 краевой угол смачивания имеет минимальное значение ($\theta = 106,29^\circ$). Дальнейшее увеличение плотности тока анодирования приводит к росту θ до значений равным $126,25^\circ$ ($j = 120 \text{ mA/cm}^2$).

Таблица 1
Режимы формирования пористого слоя кремния на кремнии

Образец серии	$j, \text{ mA/cm}^2$
1	5
2	15
3	30
4	50
5	80
6	120

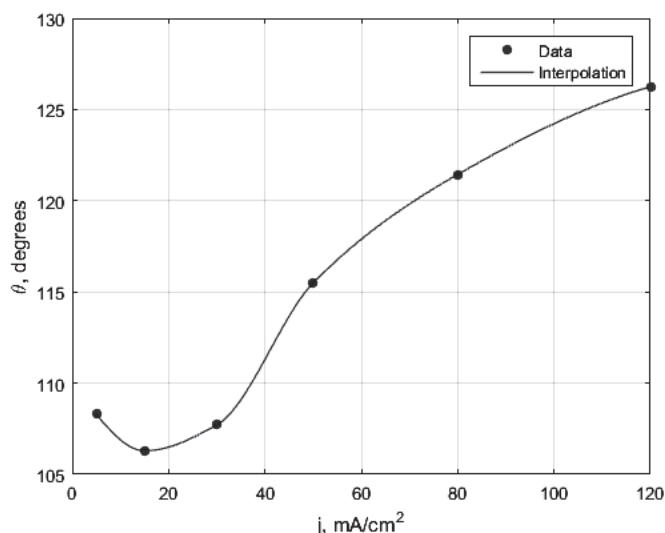


Рис. 2. Зависимость краевого угла смачивания от плотности тока анодирования для образца КЭФ.

Объяснение гидрофильности (гидрофобности) материала в целом зависит от свойств поверхности. Для определения природы функциональных групп используется индикаторный метод [1]. Изменение цвета индикатора при помещении образца в водный раствор сигнализирует о наличие кислотных, основных или близких к нейтральным центрам. Использование различных индикаторов позволяет получить распределение центров по pK_a .

Из анализа данных, полученных в [1], следует, что при помощи метода «растекающейся капли» можно оценить необходимость проведения экспериментов индикаторным методом для образцов *por-Si* серии 1 и 3, и предположить одинаковое количество адсорбционных центров на их поверхности.

Работа выполнена в рамках проектной части госзадания Минобрнауки РФ № 16.2112.2014/К по теме «Получение и исследование пористых систем, функционализированных наноматериалами, применений в фотонике, сенсорике и медицине».

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Spivak Yu.M., Myakin S.V., Moshnikov V.A., Panov M.F., Belorus A.O., Bobkov A.A. Surface functionality features of porous silicon prepared and treated in different conditions // Journal of Nanomaterials. – 2016, т. 2016.
2. Спивак Ю.М., Белорус А.О., Сомов Р.А., Туленин С.С., Беспалова К.А., Мошников В.А. Porous silicon nanoparticles for target drug delivery: structure and morphology // Journal of Physics: Conference Series. -2015, т. 643, с. 012022.

3. *Белорус А.О., Кошевой В.Л., Левицкий В.С., Мошников В.А., Спивак Ю.М.* Исследование фотолюминесценции пористого кремния, полученного методом фотоэлектрохимического травления // *Международный научный журнал Альтернативная энергетика и экология.* -2015, № 23 (187), с. 126-132.
4. *Belorus A.O., Bepalova K., Bobkov A.A., Permyakov N.V.* Porous silicon nanoparticles for target drug delivery // *European Conference on Innovations in Technical and Natural Sciences.* -2015, с. 31-36.
5. *Спивак Ю.М., Белорус А.О., Селезнев Б.И., Мошников В.А.* Морфология и свойства поверхности пористого кремния для адресной доставки лекарств // *Вестник Новгородского государственного университета им. Ярослава Мудрого.* -2015, № 8 (91), с.77-80.
6. *Беспалова К.А., Белорус А.О., Шайдаров Л.В., Третьяков А.В.* Investigation of the influence of etch process upon the morphology of the porous silicon particles. // *Известия Санкт-Петербургского государственного электротехнического университета ЛЭТИ.* - 2015, т.7, с.10-13.
7. *Александрова О.А., Алешин А.Н., Белорус А.О., Бобков А.А., Гузь А.В., Кальнин А.А., Кононова И.Е., Левицкий В.С., Мазинг Д.С., Мараева Е.В., Матюшкин Л.Б., Москвин П.П., Мошников В.А., Муратова Е.Н., Налимова С.С., Пономарева А.А., Пронин И.А., Спивак Ю.М.* Новые наноматериалы. Синтез. Диагностика. Моделирование. // *Изд-во СПбГЭТУ "ЛЭТИ".* -2015, с. 248.
8. *Белорус А.О.* Исследование поведения наночастиц порошков пористого кремния методом "растекающейся капли" // *Изд-во ООО "Аэтерна".* -2015, с. 3-10.
9. *Белорус А.О., Комлев А.А.* Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ №2014613394 // *Measurement of contact angel (MofCA).* 2014.